

## II 果実の水・炭素収支の定量法

### 1 はじめに

マンゴーやハウスミカンといった夏期に収穫する作型の果樹栽培では、果実肥大期が秋から冬、春にあたるため、多大な暖房を必要とする。例えば、慣行のハウスミカン栽培は、果実成長の盛んな満開50-120日を夜温23-25°Cとしており、この期間は、主要な作型では1月から4月にあたるため、ハウス内外の気温差が大きい。高品質生産のためには、生産者は暖房に投資する以外選択の余地がない、というのが従来の考え方である。しかしながら、近年の燃料価格の高騰は施設常緑果樹生産者の経営を大きく圧迫しており、秋冬期の省エネルギー夜温管理技術の確立が望まれている。

成長の盛んな果実の炭素収支に関しては、果菜類では報告があるが (Shishido et al.<sup>133-134</sup>、1987; 1989)、常緑果樹ではほとんど見あたらない。

果実の収量や品質は、果実の成長と糖蓄積に影響され、果実内の水と炭素の収支に依存している (Ho et al.<sup>52</sup>、1987)。ハウスミカンの高品質果実生産には、適切な水管理と温度管理との両方が必要で、慣行では満開後60日頃より灌水を控え、満開後90-100日に適切な水ストレスに遭遇させるように管理が行われる。いくつかの果菜類も、収穫部位の成長が旺盛な期間であっても、高品質生産の目的で灌水を制限する

(Pate et al.<sup>123</sup>、1977; People et al.<sup>130</sup>、1985; Ho et al.<sup>52</sup>、1987)。水耕トマトでは、水分欠乏および塩ストレス条件下における師部および木部経由で果実に流入する果柄汁液の動態や、果実の水収支などが、師部・木部別の汁液の動態から明らかにされており (Ho et al.<sup>52</sup>、1987; 荒木ら<sup>3</sup>、2001; Araki et al.<sup>2</sup>、2004)、木部経由の汁液の逆流 (Kitano and Araki<sup>75</sup>、2001)、および高品質果実生産プロセスの定量評価 (Kitano and Araki<sup>75</sup>、2001) などが報告されている。これら汁液の動態や水・炭素収支の解析は、施設栽培の環境制御に重要と考えられる。

本節では、ハウスミカン栽培における温度管理と水管理の改善を目的に、樹上ハウスミカン果実の成長、水およびCO<sub>2</sub>ガス交換、果実への流入汁液の師部・木部別評価、および<sup>13</sup>C分配を計測することで、水および炭素収支を明らかにした。

### 2 材料および方法

**材料：**ハウス内で栽培された17年生「宮川早生」を用いた。満開日は2010年1月5日、収穫は同年7月5日であった。昼/夜温は、満開後50-123日に28°C/23°C設定とし、他の期間は慣行の肥培管理に従った。実験および調査は同年5月17-18日の晴天日に行った。

**葉と果実におけるガス交換計測：**葉のガス交換は、8:00から18:00まで2時間間隔で、LI-6400 (LI-COR、USA)にて計測した。図2-1に温湿度センサー (TR-3110、

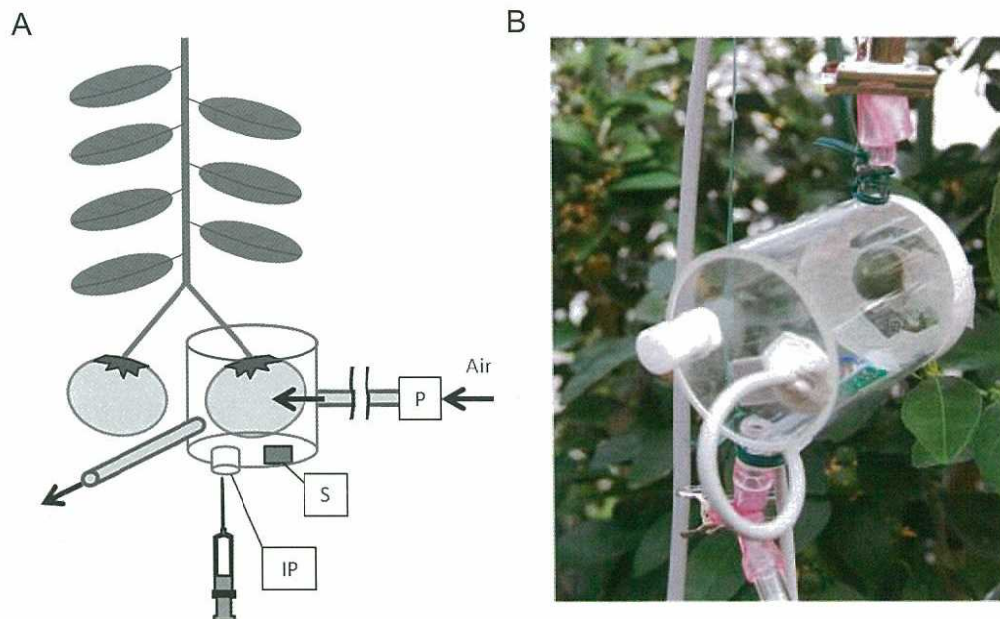


図2-1 果実の呼吸と蒸散の計測。(A) 果実チャンバーの模式図。IP、マイクロシリンジによるCO<sub>2</sub>濃度計測空気の採取口、P、チャンバー換気用エアポンプ、S、チャンバー内の相対湿度および温度センサー。(B) 樹上果実をチャンバーに密閉した様子。

T&D Corporation, Japan) を内装し、エアポンプで十分に換気される、シリンダー型計測チャンバー (直径7.0cm、長さ7.0cm) の概略を示す。チャンバー内空気の採取と温湿度計測は4時間間隔で行った。チャンバー内を密閉して10分間閉鎖環境を維持するため、エアポンプからの換気流入と換気排出の両口を閉じるようにした (Araki et al.<sup>5)</sup>, 1997; Kitano et al.<sup>76)</sup>, 1998)。マイクロシリンジによるチャンバー内空気の採取と、相対湿度および温度の計測は、チャンバー内を密閉した前後に行った。採取空気に含まれるCO<sub>2</sub>濃度は、ガスクロマトグラフ (GC-8APT and C-8A, Shimadzu Ltd., Japan) で定量した。

果実の光合成速度 ( $A_F$ ;  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) は、暗黒条件下の果実 CO<sub>2</sub> 放出速度 ( $J^{\text{CO}_2}$ ;  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) と自然光条件下の果実 CO<sub>2</sub> 放出速度 ( $J_{\text{CO}_2}$ ;  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) との差し引きで次式により求めた。

$$A_F = J^{\text{CO}_2} - J_{\text{CO}_2} \quad (2-1)$$

ここで、 $J^{\text{CO}_2}$ は図2-2に示した関係式  $J^{\text{CO}_2} = 0.037 T_a - 0.29$  ( $r^2 = 0.60$ ) で求めた暗黒条件下の果実 CO<sub>2</sub> 放出速度、 $T_a$ はチャンバー内気温 (°C)、および  $J_{\text{CO}_2}$ は自然光条件下での果実 CO<sub>2</sub> 放出速度を示す。

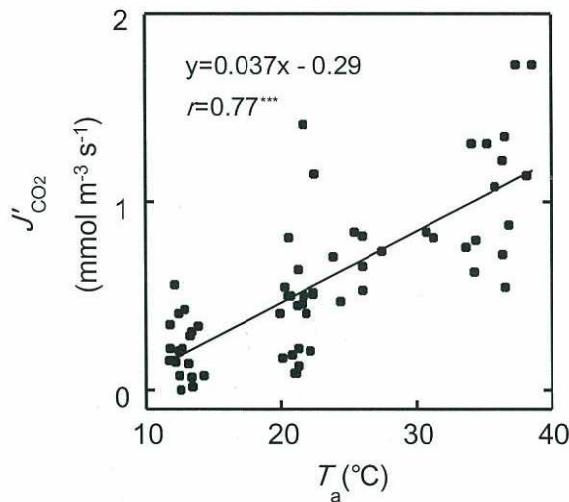


図2-2 満開後30-90日の果実におけるチャンバー内気温 ( $T_a$ ) と暗黒条件下の果実 CO<sub>2</sub> 放出速度 ( $J^{\text{CO}_2}$ ) との関係。

果実成長速度および果柄汁液フラックス：樹冠赤道部よりランダムに選んだ果実について、横径 ( $D$ ) と縦径をデジタルノギスで計測した。長期調査では、満開後40日より10日間隔で調査した。短期調査では、果実体積 ( $V_F$ ) は関係式  $V_F = 0.3812D^3 + 1.746$  ( $r^2=0.99$ ) で求めた。 $V_F$ は2もしくは4時間間隔で7:00より計測し、果実体積変化量 ( $\Delta V_F$ ) は、ある時刻の果実体積

とその直後の果実体積との変化より求めた。

果実の水収支において、果実体積変化速度 ( $GRF$ ) は、樹体から果実方向を正とする果柄汁液フラックス ( $J_{\text{Sap}}$ ;  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) と果実表面の蒸散フラックス ( $J_{\text{WF}}$ ;  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) との差に等しいと仮定できる。すなわち、 $J_{\text{Sap}}$ は $GRF$ と果実チャンバーにて計測される $J_{\text{WF}}$ より次式で表すことができる。

$$J_{\text{Sap}} = GRF + J_{\text{WF}} \quad (2-2)$$

樹上果実におけるこれら変数 ( $GRF$ ,  $J_{\text{WF}}$ , および  $J_{\text{Sap}}$ ) は、果実体積あたりの数値で表現される。自然光条件下の果実蒸散速度は、図2-3中に示した関係式、 $J_{\text{WF}} = 0.00011e^{0.17T_a}$  で求め、暗黒条件下の果実蒸散速度も図2-3で得られた計測値より同様に求めた。

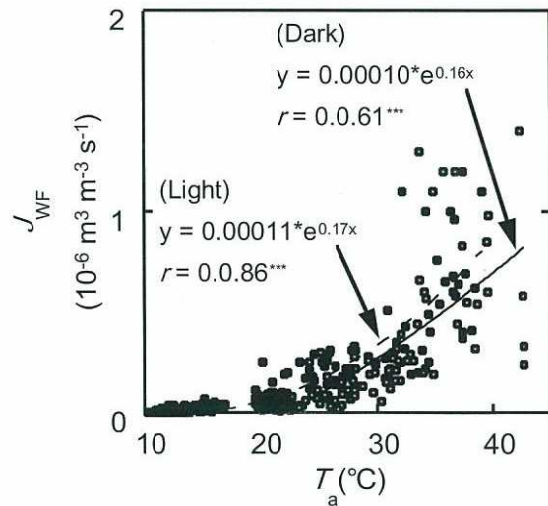


図2-3 満開後30-90日の果実におけるチャンバー内気温 ( $T_a$ ) と暗黒条件下 (●) および自然光条件下 (○) の果実蒸散速度 ( $J_{\text{WF}}$ ) との関係。

$J_{\text{Sap}}$ は師部汁液フラックス ( $J_{\text{Phlo}}$ ;  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) および木部汁液フラックス ( $J_{\text{Xy}}$ ;  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) で以下のとおり構成されている。

$$J_{\text{Sap}} = J_{\text{Phlo}} + J_{\text{Xy}} \quad (2-3)$$

$J_{\text{Phlo}}$  と  $J_{\text{Xy}}$  とを個別に評価するため、図2-4に示すヒートリング処理で師部輸送をブロックした。

実験開始直前に、果柄の基部をコンスタンタン線で巻き、5Vで180秒加熱した。これまで、他の植物において、ヒートリング法 (>60°C) が師部細胞を壊死させ師部輸送を抑制すること、一方で果実表面からの蒸散が行われるに十分な木部輸送が維持されていることなどが報告されている (Neales and Incoll<sup>110)</sup>, 1968; Ehret and Ho<sup>27)</sup>, 1986; Grusk et al.<sup>38)</sup>, 1990; Lang<sup>92)</sup>, 1990; Goldschmidt and Huber<sup>36)</sup>, 1992; Tazuke<sup>142)</sup>, 1993; Araki et al.<sup>2)</sup>, 2004)。し

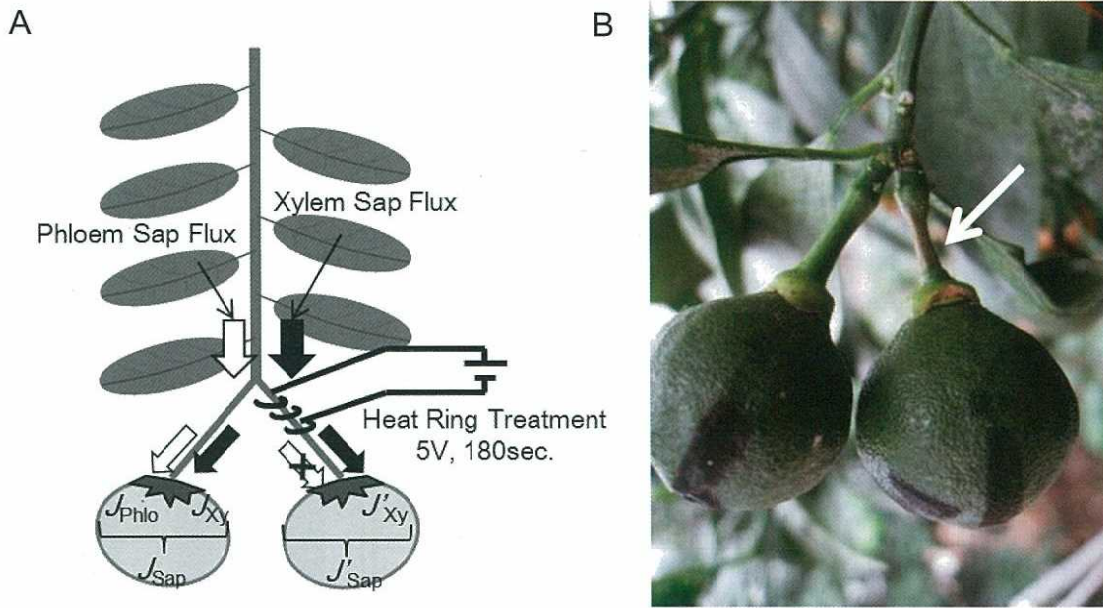


図2-4 果実水収支の計測。(A) 果柄から果実への汁液フラックス ( $J_{Sap}$ および $J'_{Sap}$ ), 木部汁液フラックス ( $J_{Xy}$ および $J'_{Xy}$ ), および師部汁液フラックス ( $J_{Phlo}$ および $J'_{Phlo}$ )を推定するヒートリング法の概要。(B) 非ヒートリング果実(左)とヒートリング処理後(白抜き矢印)18時間の果実(右)。

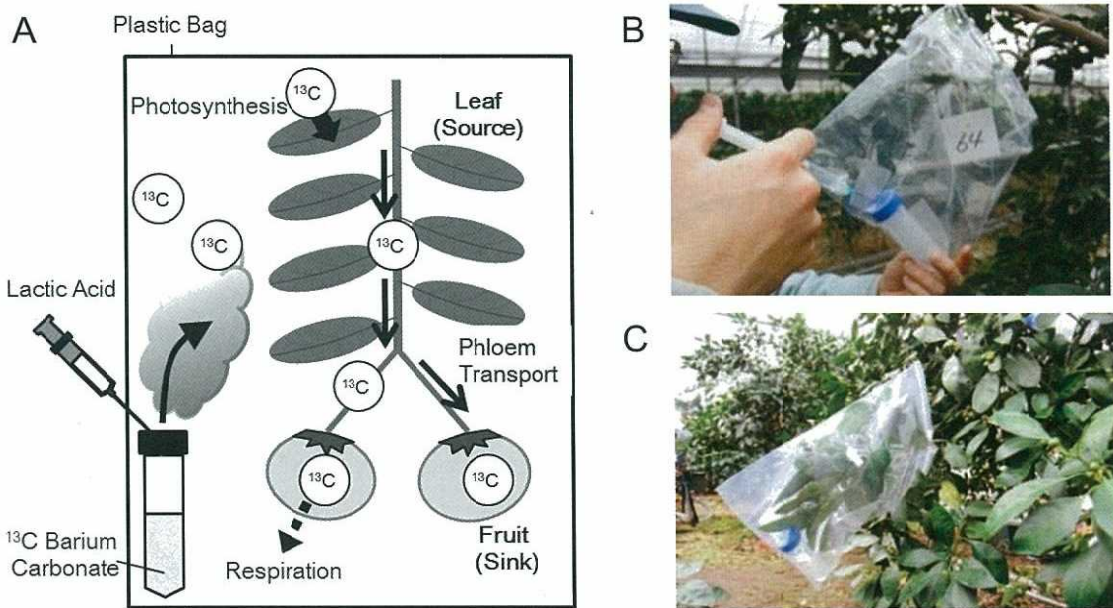


図2-5 トレーサー法による $^{13}C$ 光合成産物の果実への分配の計測。(A)  $^{13}C_2$ 発生の概要。(B)  $^{13}C$ 標識炭酸バリウムへの乳酸の注入。(C)  $^{13}C_2$ 処理の様子。

たがって、ヒートリング処理果柄の果実汁液フラックス ( $J'_{Sap}$ ;  $m^3 \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ ) は、木部輸送のみが反映され、非ヒートリング処理果柄の $J_{Xy}$ と等しいと考えられる。

$$J'_{Sap} = J_{Xy} \quad (2-4)$$

$J_{Sap}$ は式(2-2)より次のように表せる。

$$J_{Sap} = GRF' + J'_{WF} \quad (2-5)$$

ここで、 $GRF'$ と $J'_{WF}$ はヒートリング処理果柄の果実をデジタルノギスで計測して得られた値をそれぞれ示す。よって、式(2-3)と式(2-4)より、非ヒートリング処理果柄の師部汁液フラックス ( $J_{Phlo}$ ) とヒートリング処理果柄の $J'_{Sap}$ は次式で表すことができる。

$$J_{Phlo} = J_{Sap} - J'_{Sap} \quad (2-6)$$

**<sup>13</sup>C分配の解析**：光合成による<sup>13</sup>C同化産物の分配を解析するため、シンプルなソース・シンクユニットモデルを構築し、葉から果実への動的な炭素転流をパルス追跡法で評価した。ソース・シンクユニットは、2009年発生の夏枝を母枝とし、生産年の2010年に2果と7葉を含む着果枝とした (図2-3)。<sup>13</sup>C処理中は、ユニットを3L、0.1mm厚のチャック付きビニール袋に入れ密閉した。ビニール袋には、あらかじめ0.5gのBa<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>が入った50mLのテストチューブを倒伏しないように入れておいた (図2-5)。

実験を行った満開後71日の9:00に、ビニール袋の外からシリンジで10mLの10%乳酸を注入し、ビニール袋内部で<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>を発生させた。<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>処理開始後2時間でビニール袋を除去した。Ba<sup>12</sup>CO<sub>2</sub>を用いた予備実験では、処理期間中のビニール袋内の<sup>12</sup>CO<sub>2</sub>濃度は約1,000μL L<sup>-1</sup>で推移していた。サンプリングは11:00から翌7:00まで4時間間隔で行い、各時3反復でユニットを葉、茎、および果実の3部位に分け、80°Cで数日乾燥して秤量後、バイブレーションミル (Shake Master、Bio Medical Science LTD.、Japan) で粉碎した。部位毎の<sup>13</sup>C含量は、ガスクロマトグラフィー燃焼同位体元素比率質量分析計 (Integra CN、Sercon Ltd.、UK) で計測した。

**ヒートリング法の確認**：ヒートリング法による $J_{N\dot{y}}$  と  $J_{Ph10}$  の評価に際し、果柄のヒートリング処理が茎部の師部輸送を抑制するか確認しておく必要がある。そこで、 $J_{N\dot{y}}$  と  $J_{Ph10}$  の分別定量に際し、ヒートリング処理した果実としていない果実への<sup>13</sup>C分配を比較することで処理の効果を確認した。実験は満開後85日に行い、ソース・シンクユニットへの<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>処理は11:00から13:00まで行った。

**果実への積算転流量の推定**：積算転流量は、次式で求めた。

$$\Sigma TL = \Sigma J'CO_2 + DM_F - \Sigma A_F \quad (2-7)$$

ここで、 $\Sigma TL$ は1果積算転流量、 $DM_F$ は1果乾物重をそれぞれ示す。

### 3 結果

**ヒートリング処理**：図2-6にソース・シンクユニットにおける<sup>13</sup>C同化産物転流によるヒートリング処理の確認を示す。<sup>13</sup>C処理直後の<sup>13</sup>C分配は、葉で最も高く、茎と非ヒートリング処理果実の<sup>13</sup>C分配は、ソース・シンクユニット全体の<sup>13</sup>C含量の18%と12%で、ヒートリング処理果実の<sup>13</sup>C分配はゼロであった。<sup>13</sup>C処理19時間後は、非ヒートリング処理果実は<sup>13</sup>Cの蓄積が認

められたのに対し、ヒートリング処理果実では<sup>13</sup>Cの蓄積がほとんど認められなかった。したがって、ウンシュウミカン果柄におけるヒートリング処理により、茎を通じた同化産物転流を抑制できることが確認された。

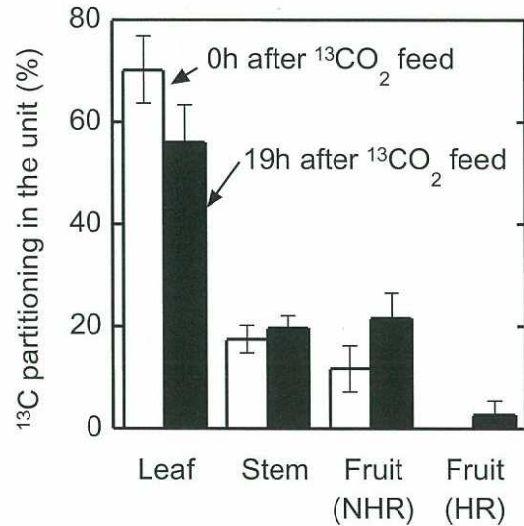


図2-6 ヒートリング処理によるソース・シンクユニット内の<sup>13</sup>C同化産物動態の確認。ソース・シンクユニットは図2-2と同様。NHR、非ヒートリング処理、およびHR、ヒートリング処理。4-5反復の平均値で、バーは標準誤差を示す。

**果実の成長および水・炭素収支の動態**：図2-7に満開後40-150日の果実体積および体積変化速度の推移を示す。果実体積変化速度は、満開後100日に調査期間中の最大値 (1.06cm<sup>3</sup>・d<sup>-1</sup>) を示し、短期調査を行った満開後71日は明らかな果実体積の増加 (0.6cm<sup>3</sup>・d<sup>-1</sup>) を示していた。

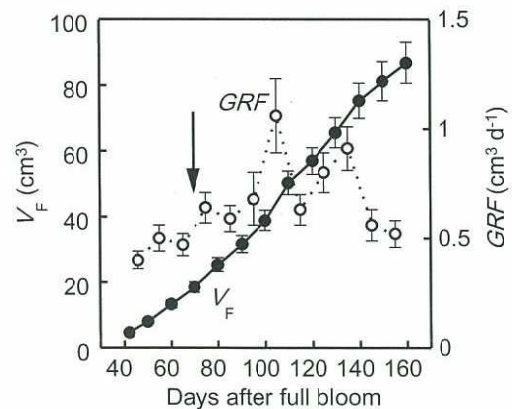


図2-7 果実体積 ( $V_F$ ) および果実体積変化速度 ( $GRF$ ) の推移。短期調査は矢印で示した日に行った。値は3樹平均値で、バーは標準誤差を示す。

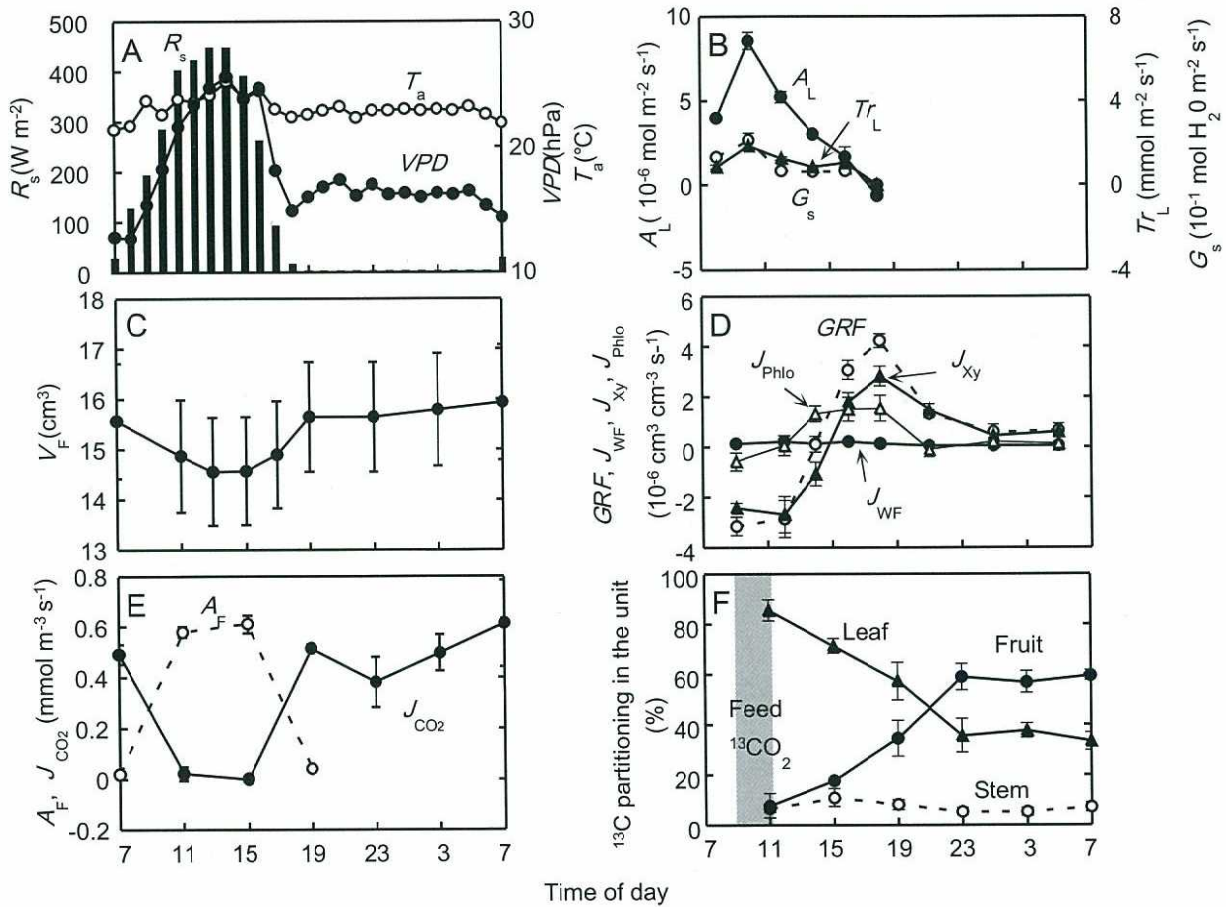


図2-8 満開後71日における環境要因(A), 葉のガス交換(B), 果実体積(C), 果実水収支(D), 果実のガス交換(E), およびソース・シンクユニット内における<sup>13</sup>C分配(F)の日変化。Rs, Ta, およびVPDはそれぞれ日射量, 気温, および飽差を示す。AL, Gs, およびTLはそれぞれ葉の見かけの光合成速度, 葉の気孔コンダクタンス, および葉の蒸散を示す。AF, JCO2, およびVFはそれぞれ果実の光合成速度, 果実のCO2放出速度, および果実体積を示す。GRF, JPhlo, JWF, およびJXyはそれぞれ果実体積変化速度, 師部汁液フラックス, 果実表面の蒸散フラックス, および木部汁液フラックスを示す。値は3樹平均値で, バーは標準誤差を示す。

図2-8Aに満開後71日における環境 (Rs、日射量; Ta、気温; およびVPD、飽差) の日変化を示す。実験を行った日(3月17日)の気象は晴天であった。午前中において、Rsは徐々に上昇し、午後の始めには最大に達した。Taは、日中は約25°C、夜間は約23°Cであった。VPDは、日中はRsに伴い上昇し、夕方には減少した。

図2-8Bに満開後71日における葉のガス交換 (AL、葉の見かけの光合成速度; TL、葉の蒸散速度; およびGs、葉の気孔伝導度) の日変化を示す。プレッシャーチャンバー法による夜明け前の葉の木部水ポテンシャルは、 $-0.73 \pm 0.02$ MPaであった。午前中のRsの増加は、AL、TL、およびGsの増加をもたらし、特にALの増加が顕著であった。正午頃には、明条件下にも関わらずAL、TL、およびGsは速やかに減少した。

図2-8Cに果実体積の日変化を示す。早朝から午後の始めに果実体積の収縮が、夕方から夜間に果実の成長が認められた。

図2-8Dに満開後71日における果実水収支 (GRF、果実体積変化速度; JWF、果実表面の蒸散フラックス; JXy、木部汁液フラックス; およびJPhlo、師部汁液フラックス) の日変化を示す。早朝から午後の始めまで、GRFとJXyはともに負の値で、その後両者とも夜の始めに明瞭なピークを示し、翌朝まで低い値を示した。GRFはJXyと類似した日変化を示した。早朝には、JPhloはゼロに近い負の値で、午後の始めまでは増加し、深夜までは減少した。JPhloはTaと類似した日変化を示した。JWFは実験期間を通じほぼゼロであった。

図2-8Eに満開後71日における果実のガス交換 (AF、

果実光合成速度; および  $J_{CO_2}$ 、正味の果実  $CO_2$  放出速度) の日変化を示す。式 (2-1) で求められる  $A_F$  は午前中に増加し、夜間には減少した。一方、 $J_{CO_2}$  は早朝以降減少し、夕方に増加した。

図2-8Fに満開後71日のソース・シンクユニットにおける  $^{13}C$  分配を示す。 $^{13}C$  処理直後の葉は  $^{13}C$  同化産物を豊富に含んでいたが、茎や果実は  $^{13}C$  同化産物をほとんど含んでいなかった。葉の  $^{13}C$  分配は、11:00から23:00まで減少した後一定となった。しかし果実の  $^{13}C$  分配は、11:00から23:00まで増加した後一定となった。茎の  $^{13}C$  分配は、葉や茎よりも低く一定であった。

水・炭素収支の日積算: 図2-9に満開後71日の樹上果実における水・炭素収支の日積算量 ( $\Sigma J_{xy}$ 、日積算木部汁液フラックス;  $\Sigma J_{Phlo}$ 、日積算師部汁液フラックス;  $\Sigma J_{WF}$ 、果実表面の日積算蒸散フラックス;  $\Sigma GRF$ 、日積算果実体積変化速度;  $\Sigma A_F$ 、日積算果実光合成速度;  $\Sigma TL$ 、果実への積算転流量;  $\Sigma J'_{CO_2}$ 、日積算果実暗呼吸速度; および  $DM_F$ 、果実乾物日増加量) を示す。

満開後71日の果実への水流入は、果柄汁液フラックス全体のうち、日積算木部汁液フラックスに30%、日積算師部汁液フラックスに70%由来していた。流入した水は、果実表面の蒸散フラックスへ19%、果実体積変化速度へ81%が仕向けられた。換言すると、19%の水が果実の蒸散で放出され、残り81%が果実成長に寄与したことになる。果実への炭素流入は、日積算果実光合成速度に14%、果実への積算転流量に86%由来していた。流入した炭素は、果実の呼吸へ39%、果実乾物日増加量へ61%が仕向けられた。したがって、果実に流入した全炭素のうち、39%が呼吸で失われ、残り61%が果実成長に寄与していた。

#### 4 考察

水ストレスが植物生理に大きな影響を及ぼすことはよく知られている。本章の短期調査においては、プレッシャーチャンバー法による夜明け前の葉の木部水ポテンシャルは、 $-0.73 \pm 0.02$  MPaであった。これは、適度な水ストレス条件下であり、ウンシュウミカンの高品質果実生産に適切な範囲にあると思われる (Yakushi ji et al.<sup>160</sup>、1998)。

日中は、高い蒸散要求度 (飽差) が過剰な葉の蒸散、木部水ポテンシャルの低下、水ストレスの増大などを誘起し、木部を介した汁液の逆流が結果的に果実を収縮させる (図2-8A、B および C)。収縮ピークの後には、果実成長と果柄汁液の増加が起こり、それに伴って果

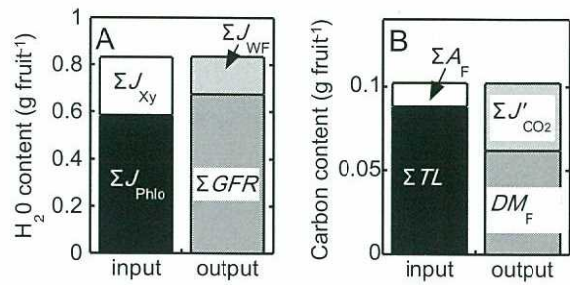


図2-9 満開後71日果実における日積算水収支 (A) および日積算炭素収支 (B)。  $\Sigma J_{xy}$ 、  $\Sigma J_{Phlo}$ 、  $\Sigma J_{WF}$ 、 および  $\Sigma GRF$  は、それぞれ日積算木部汁液フラックス、日積算師部汁液フラックス、日積算蒸散フラックス、および日積算果実体積変化速度を示す。  $\Sigma A_F$ 、  $\Sigma TL$ 、  $\Sigma J'_{CO_2}$  および  $DM_F$  は、それぞれ日積算果実光合成速度、果実への積算転流量、日積算果実暗呼吸速度、および果実乾物日増加量を示す。

実への師部フラックスと  $^{13}C$  分配の増加が深夜まで認められた (図2-8C、D、F)。その後深夜から夜明けまで、汁液フラックスと  $^{13}C$  分配の増加程度は両者とも低く、一定で推移した。これらの生理的現象は、午後の始めから深夜までの環境制御が、成長段階にあるウンシュウミカン果実への物質集積に重要であることを示唆している。

果実成長と汁液フラックスの計測より、果実に流入する汁液 ( $\Sigma J_{xy} + \Sigma J_{Phlo}$ ) の多く (81%) が果実成長に寄与し、果実からの蒸散 ( $\Sigma J_{WF}$ ) は果実流入汁液の19%に過ぎなかった (図2-9A)。これら結果は、トマトにおいて木部経由の汁液逆流と果実の収縮が観察された既往の報告 (Araki et al.<sup>2) 4)</sup>、1998、2004) と類似した。

成長段階にある果実の炭素収支は、葉の光合成と葉から果実への同化産物の転流に大きく依存しており、また果実の光合成や呼吸の影響を受ける。果実の光合成量は、種々の植物より、幅広い値を示すことが示されてきた (Flinn et al.<sup>31)</sup>、1977; Blanke and Lenz<sup>11)</sup>、1989)。緑色のリンゴ (*Malus domestica* Borkh.)、オリーブ (*Olea europaea* L.)、レモン (*Citrus limon*, Burm. f.)、およびオレンジ (*C. sinensis*, Osbeck) における果実の光合成による  $CO_2$  固定量は、暗呼吸で放出される  $CO_2$  の20-80%で、生育ステージによっても異なることが報告されている (Bean and Todd<sup>8)</sup>、1960; Bean et al.<sup>7)</sup>、1963; Blanke and Lenz<sup>11)</sup>、1989)。本章において、満開後71日におけるウンシュ

ウミカン果実の光合成によるCO<sub>2</sub>固定量は、暗呼吸で放出されるCO<sub>2</sub>の35%であった（図2-9B）。

久保田と本山<sup>86)</sup>（1972）は、ウンシュウミカンにおいて、着果が光合成産物の転流に及ぼす影響について<sup>14</sup>Cトレーサー法を用いて調べた。実験では、着果枝と遊休枝に<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>を処理し、その移行が検討された。着果枝では、<sup>14</sup>C同化産物は処理された枝自身に優先的に保持されており、他の枝や根には<sup>14</sup>Cがほとんど移行していなかった。また、着果枝の果実成長は、同じ枝に着生する最寄りの葉の影響を強く受けていた。これらの結果は、成熟した樹においてソース・シンクユニットを定義し、<sup>13</sup>Cトレーサー法を用いることが炭素収支の計測に有効であることを示す。

成長が盛んな果実の炭素収支における温度依存性といった基礎的な分析は、これまで幼植物体と<sup>14</sup>Cトレーサー法を用いた報告が多数を占めている（Shishido et al.<sup>133-134)</sup>、1987、1989）。本章では、施設内で育成させた成木を取り扱う必要性のため、<sup>13</sup>Cトレーサー法が用いられ、<sup>13</sup>C処理直後のソース・シンクユニット内の<sup>13</sup>C分配は、葉で85%、莖で7%、および果実で8%であった。この結果は、果実成長は、葉の光合成と葉から果実への同化産物の転流に主に依存しており、果実の光合成が果たす役割は極めて小さいことを示す。果実の成長に仕向けられる総炭水化物のうち、ブルーベリー（*Vacciniumashei* Reade）ではその15%が果実光合成に由来することが報告されている（Birkhold et al.<sup>10)</sup>、1992）。本章において、満開後71日におけるウンシュウミカンでは、果実の成長に仕向けられる総炭水化物のうち果実光合成が16%寄与することが示された。しかし、果実光合成の貢献度は、果実の生育ステージで大きく変動することも考えられる。

乾物ベースで果実の呼吸を見ると、一般的に果実成長に伴って減少する。呼吸は、果実内の代謝、成長および維持にエネルギーを供給し（Jones<sup>68)</sup>、1981）、乾物や糖の蓄積に利用可能な炭素を減少させる。例えば、DeJong and Walton<sup>22)</sup>（1989）は、成長するモモ（*Prunuspersica* (L) Batsch）果実の乾物増加量の16-21%を呼吸で消費するとした。本章では、満開後71日におけるウンシュウミカンでは、果実の乾物増加量の65%と比較的高い呼吸消費を示した。

以上の結果より、適度な水ストレス条件下にあるウンシュウミカン幼果の成長は、葉の光合成、葉から果実への師部輸送を介した同化産物の転流、および果実の呼吸により調節されていることが示唆された。